

УДК 677.01

ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ ДЕФОРМУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

О. І. Волошина

Старший викладач*

Контактний тел. (057) 733-78-14

E-mail: kafedra@tlp.uipa.kharkov.ua

М. Л. Рябчиков

Доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедрою*

Контактний тел. (057) 733-79-69

E-mail: kafedra@tlp.uipa.kharkov.ua

*Кафедра технологій і дизайну

Українська інженерно-педагогічна академія
вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна, 61003

Доведена можливість створення поверхні виробу при повздовжньому деформуванні матеріалу з одночасним нагріванням. На основі розв'язання диференційного рівняння сумісності деформацій визначені параметри деформування і нагрівання, що забезпечують формування заданої поверхні. Необхідна температура для забезпечення процесу деформування визначена, як явна функція форми поверхні, що повинна одержуватись

Ключові слова: енергозбереження, технічні текстильні матеріали, режими деформування, термомеханічні залежності

Доказана возможность создания поверхности изделия при продольном деформировании материала с одновременным нагревом. На основе решения дифференциального уравнения совместности деформаций определены параметры деформации и нагрева, обеспечивающие формирование заданной поверхности. Необходимая температура для обеспечения процесса деформирования определена, как явная функция формы получаемой поверхности

Ключевые слова: энергосбережение, технические текстильные материалы, режимы деформирования, термомеханические зависимости

1. Вступ

Значна конкуренція в швейній промисловості повинна призвести насамперед до підвищення якості виробу і продуктивності праці. Поліпшення якості виробів легкої промисловості з одночасним підвищенням енергоефективності є однією з основних завдань розвитку виробництва на сучасному етапі. При цьому обробка тиском, зокрема волого-теплова обробка (ВТО) суттєво впливає на продуктивність, товарний вигляд виробів.

2. Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Обробка тиском, яка в легкій промисловості пов'язана насамперед з волого-тепловою обробкою і займає більше 30% трудомісткості і майже 50% енергомісткості виготовлення виробів легкої промисловості, включає сукупність термічних, механічних статичних і динамічних дій на матеріал, направлених на зміну його геометричних розмірів.

Найбільші енерговитрати пов'язані з нагріванням матеріалу під час обробки. Традиційно режими нагрівання визначаються інтуїтивно з досить великим запасом. Наукове обґрунтування режимів нагрівання може допомогти знизити енерговитрати і підвищити загальну ефективність виробництва.

3. Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Деформаційна обробка полімерних, зокрема текстильних матеріалів широко використовується в промисловості. При цьому остаточна волого-теплова обробка при виготовленні швейних виробів провідними фірмами здійснюється в кілька прийомів за допомогою статичного впливу на оброблюваний напівфабрикат на відповідних одиницях обладнання і перекладання або перенавішування напівфабрикату, що значно знижує ефективність виробництва.

В [1] виконані теоретичні та експериментальні дослідження щодо вдосконалення технології остаточної ВТО, а також оцінки ефективності процесу віброформовання на стадії проектування; розроблена математична модель дії робочого органу, що дозволяє оптимізувати режими обробки швейного виробу.

В [2] розроблено математичну модель деформаційних властивостей виробу та елементів амортизуючих покриттів при деформуванні, що засновано на апроксимації емпіричних залежностей деформації від тиску пресування. На підставі аналізу показано, що математичні моделі є інформативними показниками волого-теплової обробки, отримані математичні моделі оцінки обробки реальних текстильних матеріалів; побудована теорія процесу і створені математичні моделі основних операцій, що впливають на напружено-деформаційний

стан матеріалу, який проявляється в процесі волого-теплової обробки.

В [3-4] приведені основи термомеханіки полімерних, зокрема текстильних матеріалів. В [4] наведені основні методи апроксимації результатів термомеханічних випробувань.

Аналіз публікацій свідчить про те, що основна увага приділяється визначенню механічних параметрів, щодо теплових, які є визначальними в енерговитратах, уваги приділяється менше. Одержали недостатнє обґрунтування методи апроксимації термомеханічних кривих в напрямку їх використання для реальних режимів деформування.

4. Постановка завдання

Обґрунтувати мінімально необхідні параметри нагрівання полімерного матеріалу для забезпечення заданого деформування на основі моделювання термомеханічних залежностей сумісно з розв'язанням задачі деформування поверхні матеріалу.

5. Обґрунтування отриманих наукових результатів

Основою для призначення режимів технологічного деформування полімерних матеріалів виступає термомеханічна залежність, типовий вигляд якої наведений на рис.1. На залежності деформації матеріалу від температури можна досить явно виділити характерні точки – температуру переходу з пружного до вискоеластичного стану t_e і відповідну деформацію ε_e , температуру переходу до в'язкотекучого стану t_p і відповідну деформацію ε_p .

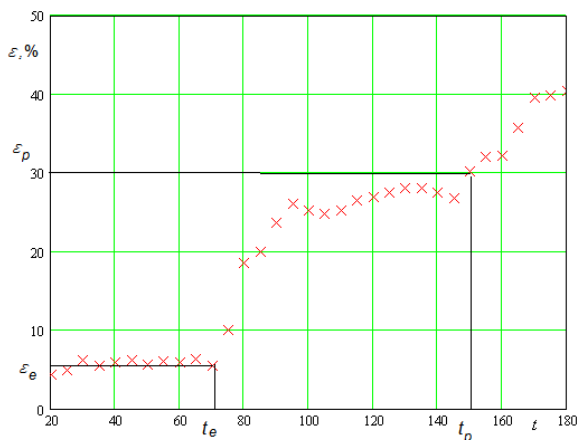


Рис. 1. Термомеханічна залежність полімерного матеріалу

В [4] запропоновані методи апроксимації наведеної залежності поліноміальними функціями, які не завжди зручно використовувати в оперативній діяльності. Зважимо на таке. Реальні режими технологічної обробки полімерних матеріалів повинні знаходитися на відрізку $t_e - t_p$. Температури, менші цих значень визначають пружні деформації, що характерні для експлуатації виробів з даних матеріалів. Температури, вище вказаного проміжку визначають в'язкотекучі деформації, для

яких характерна зміна структури полімерного матеріалу. Досягнення цих температур неприпустимо. Тому нас буде цікавити тільки один проміжок залежності, який, виходячи з зовнішнього вигляду, може бути записаний ступеневою функцією.

Для зручності перенесемо початок координат в точку початку еластичної деформації, введемо безрозмірну координату

$$\tau = \frac{t - t_e}{t_p - t_e}, \quad \bar{\varepsilon} = \varepsilon - \varepsilon_e.$$

Залежність між деформацією і температурою будемо шукати у вигляді

$$\varepsilon = \varepsilon_e + p \left(\frac{t - t_e}{t_p - t_e} \right)^k.$$

Для знаходження невідомих коефіцієнтів використовуємо метод найменших квадратів.

Знайдені за допомогою методу найменших квадратів коефіцієнти (в даному конкретному випадку $p=0,21$, $k=0,33$) дають апроксимуючу функцію, зіставлення якої з експериментальною надано на рис. 2

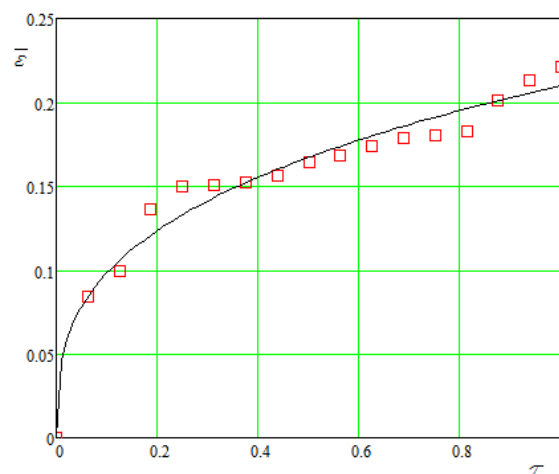


Рис. 2. Зіставлення експериментальної та апроксимуючої функцій

Пропонована залежність відрізняється тим, що за її допомогою можна розв'язувати як пряму задачу відшукування деформацій за заданою температурою, так і обернену задачу відшукування температури, як забезпечує дану деформацію.

Пружна деформація, яка передувала вискоеластичній традиційно вважається пропорційною напруженням, що діють в матеріалі [5]. Будемо вважати, що вискоеластична деформація також пропорційна напруженню

$$\varepsilon = \frac{\sigma \cdot p}{E} t^k,$$

де E – модуль пружності матеріалу.

Розв'яжемо задачу створення опуклої форми поверхні листового полімерного матеріалу шляхом його розтягнення з одночасним нагріванням (рис.3).

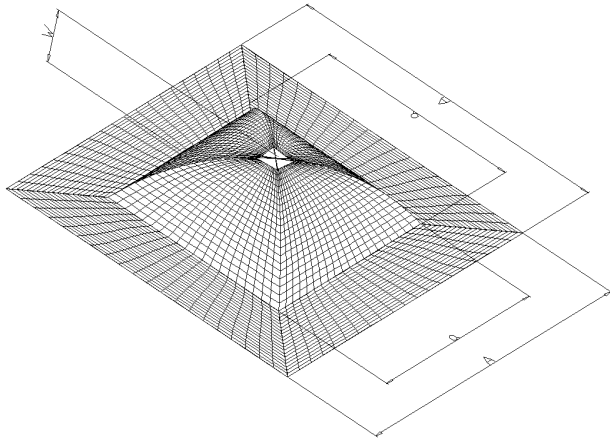


Рис. 3. Форма матеріалу після деформації

Надамо матеріалу деформацію в двох взаємно перпендикулярних напрямках, яку зафіксуємо жорсткими границями. Означимо цю деформацію ε_0 . Серединну зону матеріалу розміром $a \times a$ нагріємо температурою t . Тоді напруження в холодному матеріалі визначається законом Гука $\sigma = E\varepsilon$. Напруження в нагрітому матеріалі визначається з закону деформування еластичного стану

$$\sigma_t = \frac{E\varepsilon_0}{\rho\tau^k}$$

Після зняття навантаження і охолодження в зоні попереднього нагрівання залишається деформація

$$\varepsilon_x = \varepsilon_0 - \frac{\sigma_t}{E} = \varepsilon_0 \left(1 - \frac{1}{\rho\tau^k}\right)$$

Остаточні деформації викликають прогини, що формують поверхню матеріалу. Деформації пов'язані з умовами сумісності деформацій [5].

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \\ \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \end{cases},$$

де u - повздовжні переміщення;

v - поперечні переміщення;

w - вертикальні переміщення (прогини).

Систему координат надалі пов'яжемо з точкою пересічення осей симетрії зразка матеріалу. Рівняння сумісності у формі Сен-Венана в умовах відсутності перекошень матеріалу запишеться у вигляді [5]

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}.$$

Цьому рівнянню, а також умовам рівності прогину нулю на границях ділянки відповідає функція

$$w = C \cos \frac{\pi x}{2a} \cos \frac{\pi y}{2a}.$$

Граничним умовам переміщення в повздовжньому напрямку задовольняє функція

$$u = B \sin \frac{\pi x}{a} f(y).$$

Підставивши у перше рівняння сумісності деформацій, одержимо

$$\frac{\partial u}{\partial x} = B \frac{\pi}{a} \left(1 - 2 \sin^2 \frac{\pi x}{2a}\right) f(y).$$

Прийнявши $f(y) = \cos^2 \frac{\pi y}{2a}$, одержимо умову

$$C^2 = \frac{16a}{\pi} B, \quad \varepsilon_x - B \frac{\pi}{a} \cos^2 \frac{\pi y}{2a} = 0$$

Для того, щоб задовольнити другу умову, візьмемо середньоінтегральне значення на ділянці

$$\bar{f} = \int_{-a}^a \cos^2 \frac{\pi y}{2a} dy = \frac{1}{4}.$$

$$\text{Тоді } B = \frac{4a\varepsilon_x}{\pi}, \quad C = \frac{8a}{\pi} \sqrt{\varepsilon_x}.$$

Враховавши вираз для залишкових деформацій, можна знайти значення максимального прогину

$$W = \frac{8a}{\pi} \sqrt{\varepsilon_0 \left(1 - \frac{1}{\rho\tau^k}\right)}.$$

Якщо ми розв'язуємо технологічну задачу, нам звичайно задається форма поверхні, або по меншій мірі максимальна опуклість, яку необхідно забезпечити. З цієї умови можна знайти необхідну технологічну деформацію, або необхідну температуру. Враховуючи, що технологічна деформація обмежується умовами пружності в основному матеріалі, будемо визначати необхідну температуру для забезпечення процесу деформування

$$t = t_e + (t_p - t_e) \left[\frac{64a^2 (\varepsilon_0 - \varepsilon_e) - \pi^2 w^2}{p(64a^2 \varepsilon_0 - \pi^2 w^2)} \right]^k.$$

Ця залежність дає змогу визначити науково обґрунтовану температуру теплової обробки при деформуванні полімерних матеріалів, що допоможе знизити надмірні витрати енергії при призначенні температурних режимів з запасом, як це відбувається в теперішній час.

6. Висновки з даного дослідження і перспективи подальших досліджень у даному напрямку

Доведена можливість створення поверхні виробу при повздовжньому деформуванні матеріалу з одночасним нагріванням. На основі розв'язання диференційного рівняння сумісності деформацій визначені параметри деформування і нагрівання, що

забезпечують формування заданої поверхні. Необхідна температура для забезпечення процесу деформування визначена, як явна функція форми поверхні, що повин-

на одержуватись. Одержання науково обґрунтованої температури дозволить створити передумови для економії енергії на підприємстві.

Література

1. Стебакова, Т. Г. Исследование и совершенствование технологии окончательной влажно-тепловой обработки [Текст] : дис. канд. тех. наук / Т. Г. Стебакова. — Орел, 2006. — 134 с.
2. Лукина, Л. А. Совершенствование оборудования для влажно-тепловой обработки спортивной одежды из высокоэластичных материалов на предприятиях бытового обслуживания [Текст] : дис. канд. тех. наук / Л. А. Лукина. — М., 2010. — 140 с.
3. Основы физики и химии полимеров [Текст] : учеб. пособие / Н. В. Михайлов, В. А. Шершнёв, Т. А. Шарай, В. Н. Кулезиев ; под общ. ред. В. Н. Кулезиева. — М. : Высш. школа, 1977. — 248 с.
4. Рябчиков, М. Л. Методи апроксимації термомеханічних характеристик текстильних матеріалів [Текст] : монографія / М. Л. Рябчиков, С. В. Челишева, С. М. Вілков. — Х. : Новое слово, 2011. — 72 с.
5. Горшков А. Г. Теория упругости и пластичности [Текст] / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, Д. В. Тарлаковский. — М. : Физматлит, 2002. — 416 с.

Abstract

Improvement of the quality of light industry products with simultaneous increase of energy efficiency is one of the main tasks of production today. The article is devoted to the topical issue of scientific justification of modes of heating of textile materials in the wet-heat treatment.

The problem of the study is that traditionally, modes of heating are determined intuitively with quite a large margin. The scientific justification of heating modes can help reduce energy costs and increase the production efficiency.

The main objective of the study is to justify the minimum required parameters of heating of a polymeric material for a given deformation on the basis of modeling of thermomechanical dependencies along with the solution of the problem of deformation of the surface of the material.

The study demonstrated the possibility of creation of a surface of a product at longitudinal deformation of material while heating. On the basis of the solution of the differential equation of compatibility of deformation, we have defined the parameters of deformation and heating, which ensure the formation of a given surface. The temperature required for the deformation process was defined as the explicit function of the form of a surface that should be obtained. This dependence makes it possible to determine the scientifically justified temperature of heat treatment in deformation of polymeric materials that will help reduce unnecessary energy consumption when assigning temperature modes with a reserve, as it is at present.

Keywords: *energy saving, technical textile materials, modes of deformation, thermomechanical dependences*